

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **06-045669**

(43)Date of publication of application : **18.02.1994**

(51)Int.Cl.

H01S 3/094

(21)Application number : **03-043105**

(71)Applicant : **NEC CORP**

(22)Date of filing : **08.03.1991**

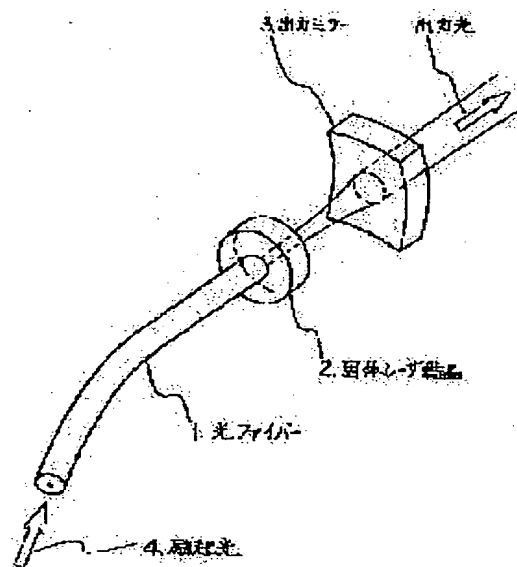
(72)Inventor : **SUMIYA MINORU**

## (54) END FACE EXCITATION TYPE SOLID LASER

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To facilitate optical alignment by reducing the number of parts of an end face excitation type solid laser for miniaturization.

**CONSTITUTION:** A laser resonator is constituted of the surface at the side of an optical fiber 1 of a solid laser crystal 2 and an output mirror 3. The end face of the optical fiber 3 is adhered to or brought closer to the solid laser crystal 2 so that the light axis of the laser resonator matches that of the optical fiber 1. An excitation light 4 is connected and waveguided from the end face at the opposite side of the optical fiber 3 to excite the solid laser crystal 2 and to obtain an output.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.12.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 01.02.2000

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-45669

(43)公開日 平成6年(1994)2月18日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/094

8934-4M

H 0 1 S 3/ 094

S

審査請求 未請求 請求項の数3(全 6 頁)

(21)出願番号 特願平3-43105

(22)出願日 平成3年(1991)3月8日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 角谷 実

東京都港区芝五丁目7番1号日本電気株式  
会社内

(74)代理人 弁理士 内原 晋

(54)【発明の名称】 端面励起型固体レーザー

(57)【要約】

【目的】端面励起型固体レーザーの部品数を減らして小型化にし、光学アライメントを容易にする。

【構成】固体レーザー結晶の光ファイバ側の面と出力ミラーによりレーザー共振器を構成している。このレーザー共振器の光軸と、光ファイバの光軸が一致するように、光ファイバの端面を固体レーザー結晶に密着、あるいは近接させる。光ファイバの反対側の端面より励起光を結合、導波させ、固体レーザーを励起することによって出力を得ている。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ共振器内に固体レーザ結晶を含み、前記固体レーザ結晶の少なくとも1面によって前記レーザ共振器のミラーを構成し、レーザ共振器の光軸にそって前記レーザ共振器の前記固体レーザ側の外部から励起光を照射し固体レーザを励起する端面励起型固体レーザにおいて、

励起光を導波させる光ファイバを設け、前記光ファイバの出力側の端面を固体レーザ結晶に密着させるか少なくとも近接させ、前記端面より放射される励起光により固

体レーザを励起することを特徴とする端面励起型固体レ\*

$$r_c + d \cdot (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} + (2/\alpha) \times (NA) / \{n_1^2 - (NA)^2\}^{1/2} > W_0$$

を満たすことを特徴とする端面励起型固体レーザ。

【請求項3】 請求項1及び請求項2記載の端面励起型固体レーザにおいて、前記固体レーザ結晶としてa軸カットのNd:YVO<sub>4</sub>を用い、前記レーザ共振器の構成から決定される前記Nd:YVO<sub>4</sub>結晶の位置におけるビームスポット半径をW<sub>0</sub>、前記Nd:YVO<sub>4</sub>結晶の\*

$$r_c + d \cdot (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} + 1 \text{ (mm)} \times (NA) / \{n_1^2 - (NA)^2\}^{1/2} > W_0$$

を満たすことを特徴とする端面励起型固体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、レーザ装置に関し、特に半導体レーザを励起光源とする端面励起型固体レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】従来の端面励起型固体レーザでは、図6に示すように、半導体レーザ10などの励起光源から放射される励起光をレンズ9で集光し、固体レーザの固体レーザ結晶2に照射する事によって励起していた。あるいは、励起光源から放射されるレーザ光をレンズで光ファイバに結合し光ファイバを導波させ、光ファイバ端面から放射されるレーザ光を再びレンズで集光してから励起に用いていた。半導体レーザ励起固体レーザに関しては、「レーザ研究、Vol. 17, No. 10 (1989), pp. 695-705」に詳しい記述がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】この種の固体レーザの励起光源としては、比較的小型で、光出力がかなり大きい半導体レーザがよく利用される。半導体レーザから放射されるレーザ光をレンズで集光して固体レーザの励起に用いる場合、固体レーザの共振器と半導体レーザを一体化しなければならない。一般に固体レーザを励起するための半導体レーザは出力が大きく、消費電力が多いため、それに伴って生じる発熱を無視できない。したがって冷却のために放熱板、空冷ファン、ペルエチエ素子等の放熱手段を用いなければならない。固体レーザの発光部の寸法が大きくなってしまふ。また、この種のレーザ

\*レーザ。

【請求項2】 請求項1記載の端面励起型固体レーザにおいて、前記レーザ共振器の構成から決定される前記固体レーザ結晶の位置におけるビームスポット半径をW<sub>0</sub>、前記固体レーザ結晶の屈折率をn<sub>1</sub>、励起光の波長における吸収係数をα、前記光ファイバのコア径が2r<sub>c</sub>、開口数がNAであり、前記固体レーザ結晶と前記光ファイバの間の距離をd。とするとき、  
 $r_c + d \cdot (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} < W_0$ かつ

※屈折率をn<sub>1</sub>、前記光ファイバのコア径が2r<sub>c</sub>、開口数がNAであり、前記Nd:YVO<sub>4</sub>結晶と前記光ファイバの間の距離をd。とするとき、  
 $r_c + d \cdot (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} < W_0$ かつ

を構成するためには少なくとも半導体レーザ、レンズ、固体レーザ結晶、出力ミラーの4個の素子が必要で、それらの光学的なアライメントに高度な技術と時間を要した。

【0004】半導体レーザから放射されるレーザ光をレンズで光ファイバに結合し光ファイバを導波させ、光ファイバ端面から放射されるレーザ光を再びレンズで集光してから励起に用いる方法により、前者の問題は解決できる。しかし、後者の問題は依然として残る。

【0005】本発明の目的は、光学的アライメントが従来に比べ容易になり、発光部もより小型になる、端面励起型固体レーザを提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の端面励起型固体レーザは、レーザ共振器に固体レーザ結晶を含み、前記固体レーザ結晶の少なくとも1面によって前記レーザ共振器のミラーを構成し、レーザ共振器の光軸にそって前記レーザ共振器の前記固体レーザ側の外部から励起光を照射し固体レーザを励起する端面励起型固体レーザにおいて、励起光を導波させる光ファイバを設け、前記光ファイバの出力側の端面を固体レーザ結晶に密着させるか少なくとも近接させ、前記端面より放射される励起光により固体レーザを励起することを特徴とする。

【0007】また、前記端面励起固体レーザにおいて、その共振器内に高周波発生のための2次の非線形光学結晶を設けることを特徴とする。

【0008】また、前記レーザ共振器の構成から決定される前記固体レーザ結晶の位置におけるビームスポット半径をW<sub>0</sub>、前記固体レーザ結晶の屈折率をn<sub>1</sub>、励起

光の波長における吸収係数を $\alpha$ 、前記光ファイバのコア径が $2r_c$ 、開口数がNAであり、前記固体レーザ結晶と前記光ファイバの間の距離を $d$ 、とすると、

$$r_c + d \cdot (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} + (2/\alpha) \times (NA) / \{n_1^2 - (NA)^2\}^{1/2} > W,$$

を満たすことを特徴とする。

〔0009〕さらに、前記端面励起固体レーザにおいて、前記固体レーザ結晶としてa軸カットのNd:YVO<sub>4</sub>を用い、前記レーザ共振器の構成から決定される前記Nd:YVO<sub>4</sub>結晶の位置におけるビームスポット半径を $W_0$ 、前記Nd:YVO<sub>4</sub>結晶の屈折率を $n_1$ 、前

$$r_c + d \cdot (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} + 1 \text{ (mm)} \times (NA) / \{n_1^2 - (NA)^2\}^{1/2} > W,$$

を満たすことを特徴とする。

〔0010〕

〔作用〕端面励起型の固体レーザを励起する場合、固体レーザ結晶中の発振領域内で励起光を吸収させると発振効率がよくなる。この固体レーザ結晶中でのビーム半径は、出力ミラーの曲率半径や、共振器長によって変化する。図4に、一方のミラーを平面とし、もう一方のミラーが曲率を持っている光共振器における、共振器長と平面ミラーの位置でのビームスポット半径の関係を示す。光の波長は1064nmとした。曲率半径 $r$ をパラメータとし、 $r$ の値を10mmから1000mmまで変えてある。端面励起型の固体レーザでは共振器長は10mm～100mm程度となり、この範囲で平面ミラーの位置におけるビームスポット半径はおおよそ50～300 $\mu$ mとなる。従来は、半導体レーザからの光を、直接、あるいは一度、光ファイバを導波してから、いずれも光をレンズで集光し、固体レーザを励起していた。

〔0011〕光ファイバを用いた場合、その端面を固体レーザ結晶に近接させるだけで励起することが可能である。図3に光ファイバを固体レーザ結晶2に近接させたときの様子を示す。光ファイバ1のコア半径が $r_c$ 、開口数がNAであるとする。固体レーザ結晶の屈折率を $n_1$ とする。また、光ファイバ1の端面と固体レーザ結晶の間の距離を $d$ 、結晶端面における励起光のビームスポット半径を $W_1$ とする。固体レーザの発振の固体レーザ結晶内でのビームスポット半径が $W_0$ であるとし、固体レーザの発振領域を破線で示した。この発振領域において、励起光の大部分が吸収されると、励起効率がよくなる。光ファイバを導波した励起光は一般に10°以上の放射角をもって端面から放射される。よって光ファイバを固体レーザ結晶に密着あるいは近接させて励起する場合、励起光が広がってしまう前の固体レーザ結晶の端面に近い短い領域で励起光を吸収する必要がある。吸収率の低い固体レーザ結晶を用いると、発振領域で充分に★

$$r_c + d \cdot \tan \theta_0 + d_1 \cdot \tan \theta_1 \leq W, \quad (2)$$

となる。 $d_1$ と $\alpha$ の間には

$$[0014] \exp(-\alpha d_1) = \exp(-2)$$

$$* r_c + d \cdot (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} < W,$$

かつ

※記光ファイバのコア径が $2r_c$ 、開口数がNAであり、前記Nd:YVO<sub>4</sub>結晶と前記光ファイバの間の距離を $d$ 、とすると、

$$r_c + d \cdot (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} < W,$$

かつ

★吸収されず、発振に寄与しない部分で吸収されてしまう。しかし、吸収率の高い固体レーザ結晶を用いると、発振領域内で大部分のエネルギーを吸収させることが可能である。

〔0012〕図5に結晶長と吸収率の関係を吸収係数 $\alpha$ をパラメータとして示した。固体レーザ結晶として従来からよく用いられてきたNd:YAGは、通常用いられているNd濃度が1atom. %程度の場合に、810nm近傍での吸収係数がおおよそ0.4mm<sup>-1</sup>であり、励起光を80%以上吸収するためには結晶長が4mm以上必要となるために、本発明のレーザに用いるのには適していない。Nd:YVO<sub>4</sub>の810nm近傍での吸収係数は、通常用いられているNd濃度が1atom. %程度の場合に、励起光の電界とNd:YVO<sub>4</sub>のc軸が平行であるときおおよそ3mm<sup>-1</sup>で、約0.5mmの結晶長で励起光の80%程度を吸収することが可能である。したがって、コア径や開口数NAの適当な光ファイバや、曲率半径の適当な出力ミラーを使用するか、共振器長を調整することによって、発振領域に有効に光を吸収させることが可能である。

〔0013〕励起効率を上げるためには、結晶端面における励起光のビームスポット半径 $W_1$ が固体レーザ発振のビームスポット半径 $W_0$ より小さい必要がある。これを式で表わすと

$$r_c + d \cdot \tan \theta_0 < W, \quad (1)$$

となる。励起光の吸収が固体レーザの発振領域に比べて中央に集中し過ぎると、固体レーザの横モードに影響を与えるばかりではなく、出力そのものの低下を引き起こす。そのために、励起光の吸収が $\{1 - \exp(-2)\} \times 100\%$  (約86%)となるための結晶長を $d_1$ とし、その位置における励起光のビームスポットを $W_1$ としたときに、少なくとも $W_1$ が $W_0$ より大きくなる必要がある。それを式で表わすと

の関係を成り立たせる必要があり、また、  
NA = sin  $\theta_0$ .

$$\sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1$$

の関係があるので、式(1)及び式(2)は次の様に表\*

$$r_c + d_0 (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} < W. \quad (3)$$

$$r_c + d_0 (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} + (2/\alpha) \times (NA) / \{n_1^2 - (NA)^2\}^{1/2} > W. \quad (4)$$

式(3)、式(4)を満たすことによりより高い発振効率を得ることが可能となる。

【0016】固体レーザ結晶としてa軸カットのNd:YVO<sub>4</sub>を用いた場合を考える。光ファイバは一般に偏波を保存せず、光ファイバを導波したレーザ光は無偏光※10

$$r_c + d_0 (NA) / \{1 - (NA)^2\}^{1/2} + 1(\text{mm}) \times (NA) / \{n_1^2 - (NA)^2\}^{1/2} > W. \quad (5)$$

よって、本発明においてa軸カットのNd:YVO<sub>4</sub>を用いた場合、式(3)及び式(5)の条件を満たすことによって、発振効率が高くなる。

【0018】また、本発明によれば、従来固体レーザ結晶の前で集光のために用いていたレンズ等の結合光学系が不要となり、部品点数が減るので、光学的アライメントが従来に比べ容易になる。

【0019】

【実施例】以下図面を参照しながら本発明の実施例を説明する。

【0020】図1に本発明の第1の実施例を示す。出力ミラー3には、固体レーザの発振波長に対して80%～98%程度の高反射率になるようにコーティングを施してある。固体レーザ結晶2は向かい合う2面を平行に研磨し、固体レーザの発振波長に対し、出力ミラー3の側が低反射率に、反対側が100%に近い反射率になるようにコーティングを施してある。固体レーザ結晶2の高反射面と出力ミラー3によりレーザ共振器を構成している。このレーザ共振器の光軸と光ファイバ1の光軸が一致するように、光ファイバ1の片側端面を固体レーザ結晶2に密着させてある。光ファイバ1の反対側の端面から半導体レーザなどの励起光源からの光4を結合し導波させ、固体レーザを励起している。固体レーザ結晶にはNd:YVO<sub>4</sub>やLNP(LiNd(PO<sub>4</sub>))などの吸収率の高い結晶を用いている。

【0021】図2に本発明の第2の実施例を示す。第1の実施例と大きな違いはレーザ共振器内に波長変換用の2次の非線形光学結晶6を設けていることである。非線形光学結晶6は、KTP(KTiOPO<sub>4</sub>)、BBO(β-BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)、KNbO<sub>3</sub>など、固体レーザの発振光を基本波として第2高調波発生など、波長変換のための位相整合が可能なのであればよい。第1の実施例とのもう1つの違いは、出力ミラー3の反射率を、発振波長に対して100%に近くし、その第2高調波に対して低反射率となるようにしていることである。こうすることによって、波長変換における基本波となる、固体レーザの発振光をレーザ共振器内に閉じこめて、レーザ

\*現できる。

【0015】

※となる。c軸と平行な電界をもつ励起光に対しては吸収係数が約3mm<sup>-1</sup>で、c軸と垂直な電界をもつ励起光に対しては吸収係数が約1.5mm<sup>-1</sup>である。よって励起光を約83%吸収するための結晶長d<sub>1</sub>は約1mmとなる。よって、式(4)の条件は次のように表現できる。

【0017】

共振器内部におけるパワー密度を増加させ、波長変換効率を高めている。

【0022】本実施例では、レーザ共振器を構成するミラーの内、一方を固体レーザ結晶の片側の端面をコーティングによって形成し、出力ミラーは独立に設けているが、第1の実施例において固体レーザ結晶の両端面によってコーティングして共振器を構成したり、第2の実施例において固体レーザ結晶の一方の端面と非線形光学結晶の一方の端面にコーティングすることによって共振器を構成することも可能であることは言うまでもない。

【0023】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、光学的アライメントが従来に比べ容易になり、発光部がより小型になる端面励起型固体レーザの提供することができる。また、使用するレンズの数を削減できるのでコストダウンにもなり産業上、非常に有効である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例を説明するための斜視図である。

【図2】本発明の第2の実施例を説明するための斜視図である。

【図3】本発明の作用を説明するための光ファイバを固体レーザ結晶に近接させ励起しているところを示す図である。

【図4】平面鏡及び凹面鏡からなる光共振器の共振器長とビーム半径の関係を示す図である。

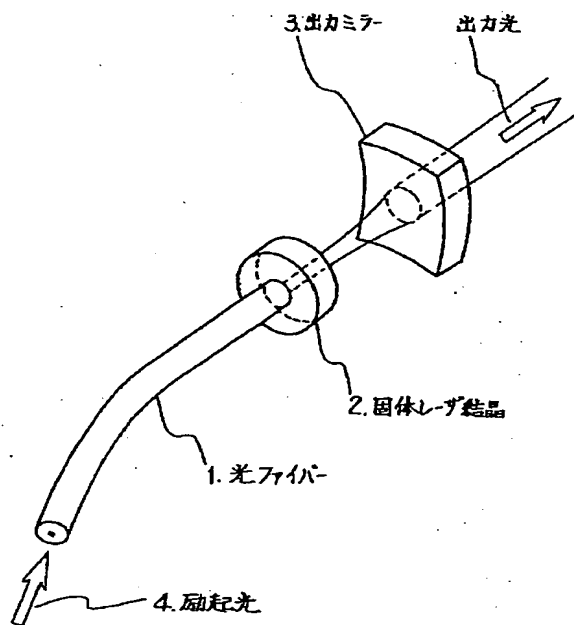
【図5】結晶長と吸収率の関係を示す図である。

【図6】従来の端面励起型固体レーザの例を示す図である。

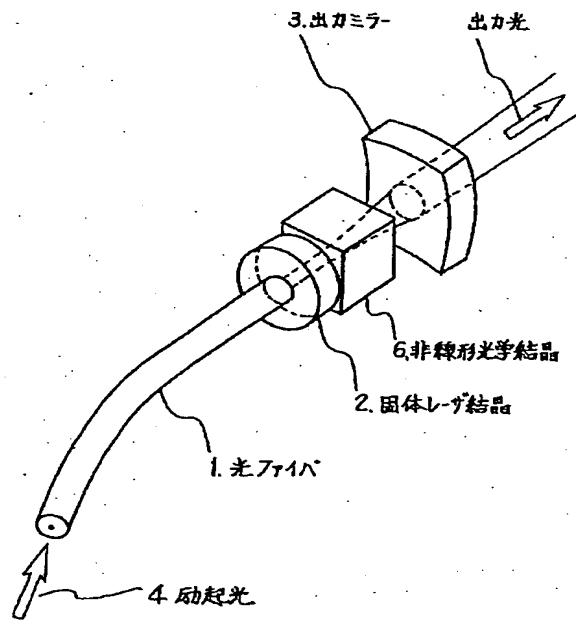
【符号の説明】

- 1 光ファイバ
- 2 固体レーザ結晶
- 3 出力ミラー
- 4 励起光
- 6 非線形光学結晶
- 9 レンズ
- 10 半導体レーザ

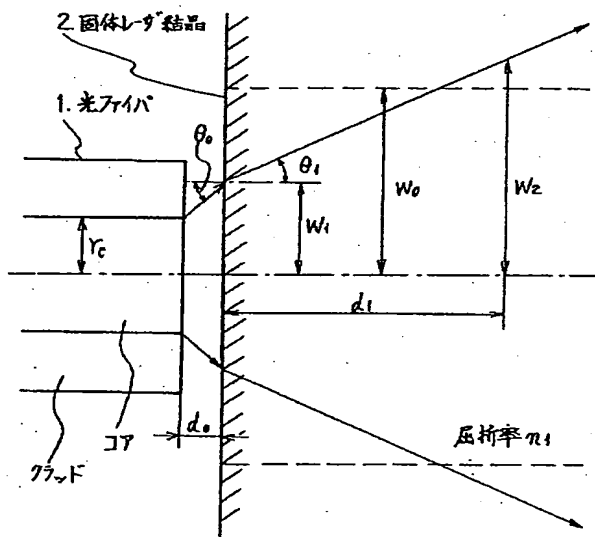
【図1】



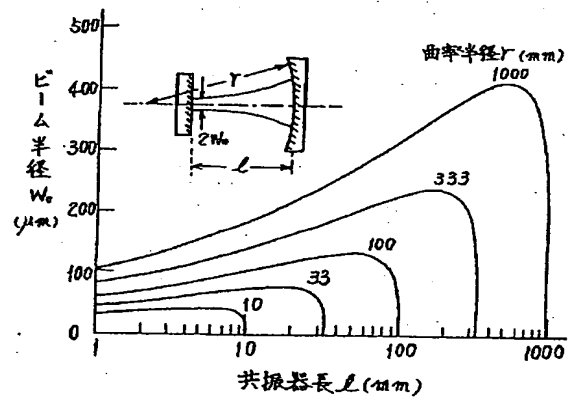
【図2】



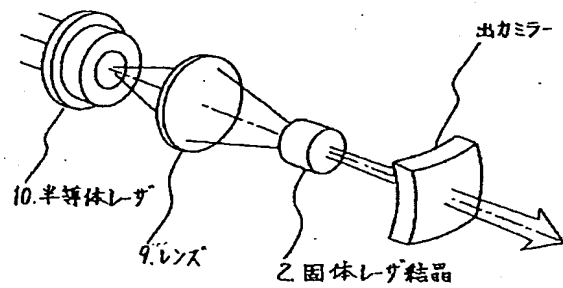
【図3】



【図4】



【図6】



【図5】

